



УДК 624.012.04-52
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-12

Научная статья



Новый метод усиления железобетонных сжатых колонн, основанный на использовании бетона и композита

С. В. Георгиев ✉, **Д. Р. Маилян**, **А. И. Соловьева**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ sergey.georgiev@bk.ru

Аннотация

Введение. Долгие годы работы по усилению сжатых железобетонных конструкций выполнялись методами, основанными на использовании железобетонных обойм и металлических внешних каркасов. Это достаточно трудоемкие и дорогие процессы. Внедрение композитных материалов в строительную индустрию позволило ускорить и упростить работы по усилению, однако в области сжатых элементов увеличить несущую способность конструкций прямоугольных или квадратных сечений оказалось очень материалоемким. Это связано прежде всего с ограничениями работы продольно расположенных углепластиковых материалов на сжатие и большим понижающим коэффициентом для поперечного композитного усиления. Однако разработка новых способов усиления, один из которых рассмотрен в данной научной работе, позволят увеличить эффективность композитных материалов, расположенных в поперечном направлении в 5–10 раз в зависимости от разных варьируемых факторов. Целью данной научной статьи является разработка и обоснование нового метода усиления железобетонных колонн при помощи смешанного бетонокомпозитного усиления.

Материалы и методы. За основу данного научного исследования были взяты результаты теоретических расчетов. Рассмотрен и рассчитан нормативный вариант усиления сжатого железобетонного элемента с выводом объема композитных материалов. На основе результатов нормативного расчета были внесены предложения, учитывающие влияние нового способа усиления, подробная методика расчета которого, также представлена в настоящей статье. Результаты теоретических расчетов по прочности и сопоставление необходимого объема используемых материалов усиления являются ключевыми при выполнении анализа и построения выводов.

Результаты исследования. Результатом полученных исследований является разработанный, рассчитанный и обоснованный новый способ усиления, позволяющий сократить объем используемых композитных материалов при усилении сжатых железобетонных колонн.

Обсуждение и заключение. В работе были представлены и рассмотрены три примера расчета усиления железобетонной колонны композитными материалами. Один из которых, является нормативным, два других – предложенные авторами. Разработанный способ усиления подразумевает использование бетонных скруглений с дальнейшим оборачиванием композитными материалами. Данные скругления можно учитывать в расчете, а можно и принять их как конструктивные элементы. В любом случае эффект от предложенного способа усиления становится выше в 5,3 и 10,5 раз. Также в заключении даются дальнейшее идеи научных исследований, продолжающие разработку и исследование способа усиления центрально сжатых железобетонных колонн композитными материалами.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сталь, углепластик, композитная арматура, усиление, деформации, напряжение.

Для цитирования. Новый метод усиления железобетонных сжатых колонн, основанный на использовании бетона и композитных материалов. / С.В. Георгиев, Д.Р. Маилян, А.И. Соловьева // Современные тенденции в строительстве,

градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 2. — С. 4–12. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-16

Original article

A New Method of Strengthening the Compressed Reinforced Concrete Columns Based on the Use of Concrete and Composite Materials

Sergey V. Georgiev ✉, **Dmitriy R. Mailyan** , **Anastasia I. Solovyeva**

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ sergey.georgiev@bk.ru

Abstract

Introduction. For many years strengthening of the compressed reinforced concrete structures was fulfilled by methods based on using reinforced concrete cages and outer metal frames. These are rather time-consuming and expensive processes. The implementation of composite materials in the construction industry made it possible to quicken and simplify the works on strengthening, however with regard to compressed elements it turned to be very resource-demanding to increase the bearing capacity of rectangular or square section structures. This is primarily due to the limitation in compression strain of the longitudinally located carbon fiber materials and a large decreasing coefficient for transverse composite strengthening. However, the development of new methods of strengthening, including the one considered in this work, will increase the efficiency of composite materials located in the transverse direction by 5–10 times, depending on different variable factors. This article aims to develop and justify a new method of strengthening the reinforced concrete columns by using mixed concrete-composite reinforcement.

Materials and methods. This research relies on the results of theoretical calculations. The standard variant of strengthening a compressed reinforced concrete element has been considered and calculated as well as composite materials volume has been specified. Based on the standard calculation results the proposals, which take into account the effect of a new strengthening method, have been made in this article, the detailed methodology of calculation thereof has also been presented. The results of theoretical strength calculations along with comparison of the required volume of reinforcement materials are the key issues in the analysis and drawing conclusions.

Results. The research has resulted in development, calculation and justification of the new method of strengthening, which allows reducing the volume of composite materials required for strengthening the compressed reinforced concrete columns.

Discussion and conclusion. Three variants of calculating the strengthening of a reinforced concrete column with composite materials have been presented and reviewed in this work. One of which is a standard one, the other two are proposed by the authors. The developed method of strengthening implies rounding of concrete followed by jacketing with composite materials. These roundings can be considered in calculation or can be referred to as structural elements. In any case, the strengthening effect received from the proposed method becomes 5.3 and 10.5 times higher. Besides, further research ideas for continuing the development and study of the method of strengthening the centrally compressed reinforced concrete columns with composite materials are given in conclusion.

Keywords: concrete, reinforced concrete, steel, carbon fiber, composite reinforcement, strengthening, deformations, strain.

For citation. S.V. Georgiev, D.R. Mailyan, A.I. Solovyeva. A new method of strengthening the compressed reinforced concrete columns based on the use of concrete and composite materials. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 2, pp. 4–12. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-16

Введение. После продолжительного времени застоя строительства в девяностых годах, современная Россия активно развивается в промышленном и гражданском секторе. С ростом объема в строительства увеличивается потребность в ремонтно-восстановительных работах или усилении несущих конструкций зданий и сооружений [1–3]. Причинами такого следствия зачастую являются ошибки и нарушения технологии производства работ на строительных площадках [4–6]. Уменьшение прочности в строительных конструкциях приводит к остановке всего строительства. Учитывая простаивающую технику и сбой в рабочем процессе, с неминуемым увеличением сроков строительства, приводит к серьезным негативным последствиям. Для решения возникших проблем инженерами-строителями используются проверенные способы усиления. Данные методы основаны на использовании аналогичных материалов, то есть бетона и металла. Производство данных работ отличается высокой трудоемкостью и сложностью выполнения усиления [7,8]. В случае устройства железобетонного усиления необходимо выполнить технологические перерывы для набора прочности бетона, что также является причиной остановки строительных процессов. Металлическое усиление является достаточно дорогостоящим и имеет пределы по увеличению несущей способности [9].

С недавних пор широко используемое композитное усиление дает возможность решать поставленные задачи достаточно быстро и эффективно [10–12]. Это доказано в ряде экспериментальных исследований для конструкции по нормальному и наклонному сечению [13–15], а также гибких внецентренно сжатых железобетонных колонн [16–18]. Что касается центрально сжатых железобетонных конструкций (колонн зданий или опор сооружений), то высокий коэффициент усиления сопровождается большим расходом материалов [19]. Однако при этом, композитное усиление также остается конкурентоспособным по сравнению с металлическим и железобетонным внешним усилением. Основное преимущество композитного усиления сжатых элементов заключается в увеличение прочностных характеристик существующих конструкций [20, 21]. В отличие от железобетонной обоймы на нижележащие несущие конструкции нагрузка не увеличивается, а также не уменьшается полезная площадь помещений, в которых производится усиление. Последнее касается общественных и жилых зданий, где квадратный метр помещения достаточно дорого стоит.

В данной научной работе авторами преследуется цель развития композитного усиления центрально сжатых железобетонных колонн. При этом основные достижения заключаются в уменьшении расхода композитных материалов, без уменьшения эффективности всего усиления. В проведенных ранее исследованиях по определению эффективности центрально сжатых железобетонных конструкций было выявлено существенное занижение прочности системы усиления, которая зависит от конфигурации поперечного сечения [22]. Для квадратных и прямоугольных колонн понижающий коэффициент варьируется от 0,15 до 0,25, то есть эффект усиления уменьшается на 85–75 %. В связи с этим было принято решение разработать конструктивный вариант усиления центрально сжатых элементов, при котором данный понижающий коэффициент будет равен единице. Результаты разработки приведены в патентах авторов [23, 24].

Материалы и методы. В качестве материалов данного исследования выступают результаты теоретического расчета «классической» усиленной железобетонной колонны сечением 40×40 см. Под понятием «классической» понимается нормативный метод усиления композитной обоймы центрально-сжатой железобетонной колонны. Для анализа был принят коэффициент усиления равный 1,5. Ниже представлен расчет количества композитных

слоев обоймы для усиления колонны. Подробный расчет необходим для дальнейшего анализа и построения нового метода расчета разработанного способа усиления. Нормативными документами, согласно которым выполнялся расчет по прочности центрально сжатой железобетонной колонны, являлись действующие своды правил (при расчете железобетонной колонны по прочности — СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», а при составлении алгоритма расчета усиления железобетонной колонны — СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами»). До написания настоящей статьи способ скругления железобетонной колонны с последующим оборачиванием композитными материалами авторами был запатентован [23, 24]. В патентах представлены две разные технологии осуществления композитного усиления с предварительным скруглением сечения конструкции. В качестве рассматриваемых конструкции принималась колонна квадратного сечения, однако рекомендуемый способ усиления также подходит под увеличение несущей способности колонн прямоугольного сечения, при этом расчетным сечением будет не круг, а овал.

В данном расчете не приведены разделы по определению прочности колонны без усиления. Однако данный расчет проводился и прочность колонны составляет N=330,5 тс. Сила, на которую будет выполняться расчет усиления составляет Nu=495,8 тс, что в полтора раза больше прочности колонны. Согласно технологии усиления углы колонны скругляются радиусом 2 см. Исходные данные по расчету усиления железобетонной колонны следующие: продольная арматура — 4Ø28А500; класс бетона — В25; материал усиления — углеткань Армошел КБ 500, с толщиной одного слоя — t = 0,27мм, прочностью на разрыв — R_f =3000 МПА.

Расчет усиления железобетонной колонны поперечной композитной обоймой:

– Определение требуемого значения прочности бетона $R_{b3}^{\text{треб}}$, работающего в сложном напряженном состоянии.

$$R_{b3}^{\text{треб}} = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_{sc} \times A_{stot}}{A_b} = \frac{(495800/1 - 4000 \times 24{,}63)}{1592} = 249\ \text{кгс/см}^2 \quad (1)$$

где $A_b = b \times b - 2 \times r \times r = 40 \times 40 - 2 \times 2 \times 2 = 1592\text{см}^2$.

– Определение приращения прочности бетона R_{bf} при установке сплошной обоймы.

$$R_{bf} = R_{b3}^{\text{треб}} - R_b = 249 - 145 = 104\ \text{кгс/см}^2. \quad (2)$$

– Определение коэффициента композитного поперечного армирования

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{k_{ef} \times k_b \times R_f}.$$

– Определение расчетного сопротивления композитного материала на растяжение при коэффициенте $\gamma_{f2} = 1.0$

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \times \gamma_{f2} \times R_{fn}}{\gamma_f} = \frac{0{,}95 \times 1{,}0 \times 3790}{1{,}2} = 30000\ \text{кгс/см}^2 \quad (3)$$

– Определение понижающего коэффициента, зависящего от конфигурации усиливаемой конструкции

$$k_{ef} = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{2b \times h} = 1 - \frac{(40-2x2)^2 + (40-2\times2)^2}{2\times40\times40} = 0{,}190 \quad (4)$$

– Для сплошной обоймы коэффициент, учитывающий наличие разрывов в обойме $k_e = 1.0$.

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{\kappa_{ef} \times \kappa_e \times R_f} = \frac{104}{0{,}19 \times 1{,}0 \times 30000} = 0{,}0182. \quad (5)$$

– Определение площади сечения композитной арматуры

$$A_f = \mu_f \times A_b = 0{,}0182 \times 1592 = 29\text{см}^2.$$

– Определение периметра рабочего сечения, подлежащего усилению

$$U_f = 2(b + h - 4r) = 2(40 + 40 - 4 \times 2) = 144\text{см}.$$

– Определение числа слоев в составе холста обоймы Армошел КБ 500 с t=0,27мм

$$n_f = \frac{A_f}{U_f t_f} = \frac{29}{144 \times 0{,}027} = 7{,}45 \text{слоя.}$$

Принимаем обойму в 8 слоев.

Анализируя полученные результаты, пришли к выводу, что при обеспечении прочности усиленной колонны необходимо 8 слоев углеткани. Учитывая высокую стоимость материалов, такое большое количество слоев углеткани при полном оборачивании колонны делает этот метод очень дорогим и не конкурентноспособным.

Анализ расчетных формул показывает, что композитное усиление увеличивает прочность колонны путем увеличения прочности бетона на сжатие. Понижающий коэффициент k_{ef} учитывает геометрические размеры поперечного сечения. При усилении круглой колонны он равен единице, в нашем случае равен k_{ef} =0,19, следовательно занижает эффективность усиления на 81 %.

Предлагается усиливаемую колонну до обертывания композитными материалами скруглить бетонном, согласно схеме (Рис. 1). Способ выполнения скруглений описан в патентах [23, 24].

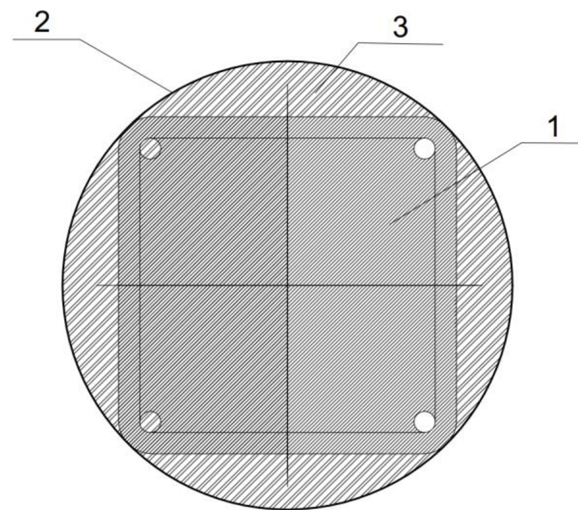


Рис. 1. Поперечное сечение усиливаемой колонны, скругленной бетоном и обернутой композитными материалами: 1. Усиливаемая колонна; 2. Композитное усиление на основе углеткани; 3. Бетонные скругления

Основная идея данного метода заключается в равномерном сдерживании развития поперечных деформаций в усиливаемом элементе, поэтому прочность бетона усиления должна быть не ниже прочности бетона колонны. Совместную работу элементов скругления обеспечит композитная обойма.

При отсутствие экспериментальной базы, которая, в дальнейшем, будет нами реализована, анализ эффективности способа усиления будет выполняться дважды. Первый будет учитывать элементы бетонного скругления как части сечения колонны. Второй — не включать элементы скругления, а принять их как конструктивные элементы.

Ниже приведены примеры расчета усиливаемого образца по предложенному методу усиления. Согласно полученным площадям поперечного сечения композитных материалов были подобраны схемы армирования, а именно, количество слоев и толщина углеткани. Из известных видов углеткани фирмы «Гидрозо» были приняты для исследования три вида материалов: Армошел КБ200 с толщиной t = 0,11 мм, Армошел КБ500 с толщиной t = 0,27 мм и Армошел КБ900 с толщиной t = 0,48 мм. Все композитные материалы имели одинаковые характеристики и отличались только толщиной. Необходимые для расчетов характеристики материалов приведены в примерах.

Результаты исследования.

1 пример расчета. Усиление железобетонной скругленной колонны поперечной композитной обоймой с учетом работы скруглений на сжатие.

Определяем требуемое значение прочности бетона, работающего в сложном напряженном состоянии

$$R_{b3}^{\text{треб}} = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_{sc} \times A_{stot}}{A_b} = \frac{(495800/1 - 4000 \times 24{,}63)}{2171} = 183\ \text{кгс/см}^2, \text{ где}$$

$$A_b = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 52{,}6^2}{4} = 2171\ \text{см}^2, \qquad \text{d}=\sqrt{b^2+b^2}\text{-2r}=\sqrt{40^2+40^2}\text{-2x2=52.6 см}$$

– приращение прочности бетона при установке сплошной обоймы:

$$R_{bf} = R_{b3}^{\text{треб}} - R_{bn} = 183 - 145 = 38\ \text{кгс/см}^2.$$

– коэффициент композитного поперечного армирования:

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{k_{ef} \times k_b \times R_f}.$$

т.к. сечение будет скруглено, коэффициент $k_{ef} = 1$.

Для сплошной обоймы коэффициент, учитывающий наличие разрывов в обойме $k_e = 1{,}0$.

– расчетное сопротивление композитного материала на растяжениеR_f определяется по формуле (5),

$$R_f = 30000\ \text{кгс/см}^2$$

$$-\mu_f = \frac{R_{bf}}{\kappa_{ef} \times \kappa_e \times R_f} = \frac{38}{1 \times 1{,}0 \times 30000} = 0{,}0013$$

– площадь сечения композитной арматуры:

$$A_f = \mu_f \times A_b = 0{,}0013 \times 2171 = 2.75\text{см}^2$$

– периметр рабочего сечения, подлежащего усилению:

$$U_f = 2 \times \pi \times r = 2 \times 3{,}14 \times \frac{52{,}6}{2} = 165{,}1$$

– число слоев в составе холста обоймы из Армошел КБ 500:

$$n_f = \frac{A_f}{U_f \times t_f} = \frac{2{,}75}{165{,}1 \times 0{,}027} = 0{,}6\text{слоя.}$$

– число слоев в составе холста обоймы из Армошел КБ 200:

$$n_f = \frac{A_f}{U_f t_f} = \frac{2{,}75}{165{,}1 \times 0{,}011} = 1{,}5\text{слоя.}$$

Принимаем обойму в 2 слоя Армошел КБ 200. Фактическая площадь сечения обоймы $A_f = U_f \times t_f \times n_f = 165{,}1 \times 0{,}011 \times 2 = 3{,}63\text{см}^2 > 2{,}75\text{см}^2$

2 пример расчета. Усиление железобетонной скругленной колонны поперечной композитной обоймой без учета работы скруглений.

Требуемое значение прочности бетона, работающего в сложном напряженном состоянии по формуле (1), $R_{b3}^{\text{треб}} = 249\ \text{кгс/см 2}$.

– приращение прочности бетона при установке сплошной обоймы по формуле (2), $R_{bf} = 104\ \text{кгс/см}^2$.

– расчетное сопротивление композитного материала на растяжение по формуле (3) $R_f = 30000\ \text{кгс/см}^2$

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{\kappa_{ef} \times \kappa_e \times R_f} = \frac{104}{1 \times 1{,}0 \times 30000} = 0{,}0035.$$

– площадь сечения композитной арматуры:

$$A_f = \mu_f \times A_b = 0{,}0035 \times 1592 = 5{,}5\text{см}^2.$$

– периметр рабочего сечения, подлежащего усилению:

$$U_f = 2 \times (b + h - 4 \times r) = 2 \times (40 + 40 - 4 \times 2) = 144\text{см}.$$

– число слоев в составе холста обоймы:

$$n_f = \frac{A_f}{U_f t_f} = \frac{5{,}5}{144 \times 0{,}027} = 1{,}42 \text{ слоя}.$$

Принимаем обойму в 2 слоя. Фактическая площадь сечения обоймы:

$$A_f = U_f \times t_f \times n_f = 144 \times 0{,}027 \times 2 = 7{,}8\text{см}^2 > 5{,}5\text{см}^2.$$

Обсуждения и заключения. Согласно результатам проведенных исследований можно отметить:

– предложенный способ усиления действительно дает существенный эффект по улучшению композитного усиления центрально сжатых железобетонных колон квадратного и прямоугольного сечения;

– требуемая площадь усиления поперечного сечения композитных материалов, согласно результатам составленных методик расчета по сравнению с результатами нормативного расчета и способа усиления уменьшилась с 29 до 2,75 и 5,5 см^2 для первого и второго расчета соответственно, что меньше в 10,5 и 5,3 раз;

– учитывая полученные результаты по уменьшению площади композитного материала усиления в дальнейшем требуется произвести экспериментальное подтверждение;

– в работе было выполнено сравнение вариантов усиления композитных обойм, рассмотренных в нормах и предложенных авторами данной статьи, при коэффициенте усиления колонны равном 1,5. Для подтверждения эффективности нового метода усиления необходимо провести численный эксперимент расчета колонны при разных коэффициентах усиления. Помимо этого, необходимо, согласно прайсам фирм-реализаторов строительных материалов, рассчитать в денежном эквиваленте эффективность композитных материалов по сравнению с нормативным, а также сравнить с традиционными.

Библиографический список

1. Иванов, Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: Усиление, восстановление, ремонт / Иванов Ю.В. // А.С.В. — 2012 — 312 с.

2. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы / Тамразян А.Г. // Промышленное и гражданское строительство. — 2014 — № 7 — С. 51–54.

3. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон – взгляд в будущее / Тамразян А.Г.// Вестник МГСУ. — 2014. — № 4. — С. 181-189.

4. Grace, N.F Development and application of innovative triaxially braided ductile frp fabric for strengthening concrete beams / Grace N.F., Ragheb W.F., Abdel-Sayed G. // Composite structures. — 2004 — V. 64. — № 3–4. — P. 521-530. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2003.09.051.

5. Корсаков, Н.В. Анализ повреждений и видов усилений сжатых железобетонных конструкций / Корсаков Н.В. // В кн.: Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета. тезисы докладов. Волгоград. — 2021. — С. 468–469.

6. Гроздов, В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений / Гроздов В.Т. // СПб. — 2005. — 114 с.

7. Данилов, С.В. Усиление железобетонных колонн стальными обоймами / Данилов С.В., Фомичева Л.М // В кн.: Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. материалы международной научно-технической конференции. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2017. — С. 240–241.

8. Курбанов, З.А. Усиление сборной железобетонной колоны методом железобетонной обоймым / Курбанов З.А., Грушевский К.Е. // В сборнике: Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования. сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях. — 2018. — С. 169–171.

9. Георгиев, С.В. Сравнение методов усиления железобетонных стоек с точки зрения экономической эффективности / Георгиев С.В., Соловьева А.И., Меретуков З.А. // Инженерный вестник Дона. — 2022. — № 2 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22__2_georgiev_solovyeva_meretukov.pdf_e8ebcad5b0.pdf

10. Маяцкая, И.А. Применение углепластиковых ламелей при усилении строительных конструкций / Маяцкая И.А., Польской П.П., Георгиев С.В., Федченко А.Е. // Строительство и техногенная безопасность. — 2018. — № 12 (64). — С. 33–38.

11. Horiguchi, T. Effect of test methods and quality of concrete on bond strength of CFRP sheet external reinforcement of concrete beams using fiber / Horiguchi T., Saeki N., Ritchie P.A. // Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures Conference. — Japan. — 2001. — V. l. — P. 265–270.

12. Польской, П.П. Влияние различных вариантов внешнего композитного армирования на жесткость гибких сжатых элементов / Польской П.П., Георгиев С.В. // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 4. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4826

13. Hutchinson, A. R. Flxural strengthening of concrete beams with externally bonded FRP reinforcement / Hutchinson A. R., and Rahimi, H // Proc., 2nd Int. conf. on Advanced compos.mat.in bridges and struct. — (ACMBS). — pp. 519-526.

14. Hussain, M. Flexural behavior of precracked reinforced concrete beams strengthened externally by FRP plates / Hussain M., Sharif A., Basunbul I.A., Baluch M.H. and AL Sulaimani G.J // ACI Struct.J. — 92(1). — pp. 14–22.

15. Khalifa, A. Shear performance of RC members strengthened with externally bonded FRP wrap / Khalifa A., Belarbi A., Nanni A. // Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand – Jan 30-Feb 04. — 2000. — pp. 305-315.

16. Mander, J.B. Theoretical stress-strain model for confined concrete / Mander J.B., Priestly Park R. // ASCE Journal of Structural Engineering. — Vol. 114. — No. 8. — 1988. — pp. 1804-1826.

17. Польской, П.П. О программе исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами на основе углепластика / Польской П.П., Георгиев С.В. // Научное обозрение. — 2014. — № 10–3. — С. 662–666.

18. Георгиев, С.В. К определению прочности бетона, обжатого композитными материалами, расположенными в поперечном направлении / Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьева А.И. // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 10 (82). — С. 240–250.

19. Георгиев, С.В. Сравнение методик усиления внешним армированием композитных материалов / Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьева А. И. // Инженерный вестник Дона. 2021. — № 10. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7221

20. Matthys, S. Structural behavior and design of concrete members strengthened with externally bonded FRP reinforcement / Matthys S. // Doctoral thesis, Gent University. — 2000.

21. Мухамедиев, Т.А. Расчет внецентренно сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из композиционных материалов / Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. // Бетон и железобетон. — 2014. — № 2. — С. 18-20.

22. Мухамедиев, Т.А. Проектирование усиления железобетонных конструкций композиционными материалами / Мухамедиев Т.А. // Бетон и железобетон. — № 3. — 2013. — С. 6–8.

23. Георгиев, С.В. Способ усиления железобетонной колонны прямоугольного или квадратного сечения композитными материалами / Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьева А.И. // Патент на изобретение 2775852 C1 – 11.07.2022 – Заявка № 2021133930 от 22.11.2021.

24. Георгиев, С.В. Способ усиления железобетонной колонны прямоугольного или квадратного сечения / Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьева А.И. // Патент на изобретение 2773490 C1. — 06.06.2022. — Заявка № 2021133929 от 22.11.2021.

Поступила в редакцию 16.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Маилян Дмитрий Рафаэлович — профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, dmailyan868@mail.ru

Георгиев Сергей Валерьевич — доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, sergey.georgiev@bk.ru

Соловьева Анастасия Ивановна — инженер и ассистент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), магистр, 98rosignol@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Георгиев С.В. — анализ результатов исследований, проведение расчетов, формирование выводов. Д. Р. Маилян – формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, корректировка выводов. А. И. Соловьева — выполнение расчетов, подготовка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.